

S1 '1 PN="4-21342
?t 1/5/1

1/5/1
DIALOG(R)File 347:JAPIO
(c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

03848321
OPTICAL ELEMENT PROVIDED WITH ASPHERICAL DOUBLE-ADVANCING LATTICE OPTICAL
SURFACE

PUB. NO.: 04-213421 [JP 4213421 A]
PUBLISHED: August 04, 1992 (19920804)
INVENTOR(s): CHIYUNTE DABURIYU CHIEN
APPLICANT(s): HUGHES AIRCRAFT CO [115830] (A Non-Japanese Company or
Corporation), US (United States of America)
APPL. NO.: 03-035110 [JP 9135110]
FILED: February 06, 1991 (19910206)
PRIORITY: 7-475,526 [US 475526-1990], US (United States of America),
February 06, 1990 (19900206)
INTL CLASS: [5] G02B-013/18; G02B-001/02; G02B-005/18; G02B-013/02;
G02B-027/44
JAPIO CLASS: 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment)
?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-213421

(43) 公開日 平成4年(1992)8月4日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 13/18		8106-2K		
1/02		7820-2K		
5/18		7724-2K		
13/02		8106-2K		
27/44		9120-2K		

審査請求 未請求 請求項の数18(全 7 頁)

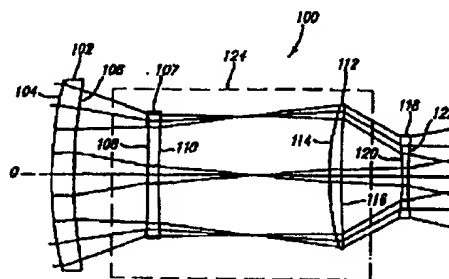
(21) 出願番号	特願平3-35110	(71) 出願人	390039147 ヒューズ・エアクラフト・カンパニー HUGHES AIRCRAFT COMPANY アメリカ合衆国、カリフォルニア州 90045-0068, ロサンゼルス, ヒューズ・ テラス 7200
(22) 出願日	平成3年(1991)2月6日	(72) 発明者	チユンテ・ダブリュ・チエン アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92720, アービン, アレグニール 33
(31) 優先権主張番号	4 7 5 5 2 6	(74) 代理人	弁理士 鈴江 武彦
(32) 優先日	1990年2月6日		
(33) 優先権主張国	米国 (U S)		

(54) 【発明の名称】 非球面2進格子光学的表面を備えた光学素子

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、構造が比較的簡単で、各種の収差の少ない光学素子を提供することを目的とする。

【構成】 非球面である第1の表面104と回折面である第2の表面106とを有する凸レンズ等の光学素子102を使用して収差を減少させることを特徴とする。これを適用した広視野望遠鏡では、この第1の凸レンズ光学素子102に後続して2進格子表面である第1の凹面108と非球面である第2の凹面110とを有する第1の凹レンズ光学素子107と、実質上球面である表面を有する凸レンズパワー光学素子112と、第2の凹レンズ光学素子118とが配置され、前記の2進格子表面は、キノフォームプロファイルに近似する一連の位相レベルステップを有する複数の同心リングを具備する。また狭視野望遠鏡では光学素子107と光学素子112とが除かれる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 非球面である第1の表面および回折面である第2の表面を有し光学系における収差を減少させる光学素子。

【請求項2】 前記第2の表面は、キノフォームプロファイルに近似する一連の位相レベルステップをそれぞれ有する複数の同心リングを具備する2進格子表面である請求項1記載の光学素子。

【請求項3】 前記第1の表面は凸状であり、前記第2の表面は凹状である請求項1記載の光学素子。

【請求項4】 前記第1および第2の表面は凹状である請求項1記載の光学素子。

【請求項5】 ゲルマニウムから構成されている請求項1記載の光学素子。

【請求項6】 1次色収差と、全てのオーダの球面収差および球面色収差と、第3のオーダコマ収差を補正し、 $F/\#$ 5. と同じ程度に低い焦点比に対して側面色収差を減少させることが可能である請求項1記載の光学素子。

【請求項7】 赤外線波長領域におけるエネルギーに有用なスペクトルバンドパスを有している請求項1記載の光学素子。

【請求項8】 非球面である第1の表面および2進格子表面である第2の表面を有し、ゲルマニウムから構成され、赤外線波長領域におけるエネルギーに有用なスペクトルバンドパスを有し、光学系における収差を減少させる光学素子。

【請求項9】 前記2進格子表面は、キノフォームプロファイルに近似した一連の位相レベルステップを有する複数の同心リングを具備している請求項8記載の光学素子。

【請求項10】 1次色収差と、全てのオーダの球面収差および球面色収差と、第3のオーダコマ収差を補正し、 $F/\#$ 5. と同じ程度に低い焦点比に対して側面色収差を減少させることが可能である請求項1記載の光学素子。

【請求項11】 (a) 非球面である第1の凸面および2進格子表面である第2の凹面を有する光軸上の第1の凸レンズ光学素子と、

(b) 前記第1の凸レンズ光学素子の後方の前記光軸上に位置し、2進格子表面である第1の凹面および非球面である第2の凹面を有する第1の凹レンズ光学素子とを具備し、前記2進格子表面は、キノフォームプロファイルに近似した一連の位相レベルステップをそれぞれ有する複数の同心リングを具備し、

(c) さらに前記第1の凹レンズ光学素子の後方の前記共通の光軸上に位置し、実質上球面である表面を有する凸レンズパワー光学素子と、

(d) 前記凸レンズパワー光学素子の後方の前記光軸上に位置する第2の凹レンズ光学素子とを具備している光

2

軸を有する望遠鏡システム。

【請求項12】 前記第1の凸レンズ光学素子と、前記第1の凹レンズ光学素子と、前記凸レンズパワー光学素子と、前記第2の凹レンズ光学素子は、ゲルマニウムから構成され、赤外線波長領域内に有用なスペクトルバンドパスを有している請求項11記載の望遠鏡システム。

【請求項13】 前記凸レンズ光学素子および前記第1の凹レンズ光学素子は、1次色収差と、全てのオーダの球面収差および球面色収差と、第3のオーダコマ収差を補正し、 $F/\#$ 5. と同じ程度に低い焦点比に対する側面色収差を減少させることが可能である請求項11記載の望遠鏡システム。

【請求項14】 4個の光学素子は、光学素子A、B、CおよびDから構成され、明細書末尾の表2によって構成し取付けられ、「半径」は対応する番号で示された光学素子表面の曲率の半径であり、「厚さ」は光軸0に沿って示された表面から次に高い番号の表面までの距離であり、材料は表2の通りであり、第1の凸レンズ光学素子および凹レンズ光学素子を除く全ての表面は球面であり、第1の凸レンズ光学素子の第1の表面は非球面であり、その曲率定数 c 、 k 、 d 、 e 、 f および g は表2に示され、第1の凸レンズ光学素子の第2の表面および第1の凹レンズ光学素子の第1の表面は、2進格子表面であり、その位相プロファイル ϕ は表2の下方において定数 Q 、 c 、 k 、 d 、 e 、 f および g により定められ、それらの値はインチである請求項11記載の望遠鏡システム。

【請求項15】 前記第1の凹レンズ光学素子および前記凸レンズパワー光学素子は、前記望遠鏡システムから除去可能な共通のハウジングに固定され、残りの第1の凸レンズ光学素子および第2の凹レンズ光学素子は、狭視野を有する望遠鏡を形成する請求項11記載の望遠鏡システム。

【請求項16】 (a) 非球面である第1の凸面およびキノフォームプロファイルに近似する一連の位相レベルステップをそれぞれ有する複数の同心リングを具備する2進格子表面である第2の凹面を有する凸レンズ光学素子と、

(b) 前記凸レンズ光学素子の後方の共通の光軸上に整列される凹レンズ光学素子とを具備している望遠鏡システム。

【請求項17】 前記凸レンズ光学素子および前記凹レンズ光学素子は、ゲルマニウムから構成され、赤外線波長領域におけるエネルギーに有用なスペクトルバンドパスを有している請求項16記載の望遠鏡システム。

【請求項18】 2個の光学素子は、光学素子AおよびBから構成され、明細書末尾の表1によって構成し取付けられ、表における「半径」は対応する番号で示された光学素子表面の曲率の半径であり、「厚さ」は光軸0に沿って示された表面から次に高い番号の表面までの距離

であり、材料は表1の通りであり、第1の凸レンズ光学素子を除く全ての表面は球面であり、凸レンズ光学素子の第1の表面は非球面であり、その曲率定数 c 、 k 、 d 、 e 、 f および g は表1に示され、凸レンズ光学素子の第2の表面は2造格子表面であり、その位相プロファイル ϕ は表1の下方面において定数 Q 、 c 、 k 、 d 、 e 、 f および g により定められ、それらの値はインチである請求項16記載の望遠鏡システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光学系における収差を取除く技術、特に非球面2造格子光学的表面を備えた光学素子に関する。

【0002】

【従来の技術】光学系により生成された画像は、収差と呼ばれる欠点を有する。収差は多くの形を取ることができる。例えば、色収差は光の分散によるものである。短い波長は最も屈折し、レンズに最も近いところに焦点を結ぶ。長い波長はそこから離れて焦点を結ぶ。球形レンズ面が使用されるとき、球面収差が生じる。周辺に近い入射光はレンズにより近く焦点を結ぶ。中心に近い入射光はそれより遠い所に焦点を結ぶ。球面収差は球面収差の1型式であり、光線の焦点は光の波長により変化する。最後に、コマはレンズおよびその中心に入射しない光線をアクセスから外すことによって形成された画像を歪ませる収差である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】通常の光学系は収差を補正するためにしばしば付加的なレンズを必要とする。ゆえに、コスト、重量、寸法、およびまたは複雑性が追加される。例えば、天文学用に設計された多くのレンズは、2つの異なる屈折率の光学素子からなる。束の球面の曲率は球面および色収差の両方を許容量に減少させるように設計されている。通常の光学系は補正レンズなしでは色収差によって低い速度または焦点比に限定されるであろう。

【0004】収差を補正するためにレンズを追加する別の手段の1つは、少なくともレンズの片方に多くの型のコンピュータ発生したフレネルゾーンプレート1つのような回折面を使用することである。2造格子表面と呼ばれるキノフォームフレネルゾーンプレートの高効率2造近似的値は、スワンソンおよびベルドカンパの文献(1988年のSPIE Proceedings, vol. 885, paper #22)による赤外線システムの使用について開示されている。その文献はさらに通常または球形レンズを有するそのような表面の使用を開示している。球形レンズ面は焦点を結び、回折面はできるだけ多くの球面収差を補正する。しかし、球面収差の補正のための2造格子表面の使用はかなりの球面収差をもたらす。さらに、低い速度または焦点比はこの色収差を限定するのに必要であるので、使用できる

光速度はかなり限定される。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明により、非球面2造格子光学的表面を有する光学素子が提供される。好ましい実施例において、光学素子は赤外線波長領域におけるエネルギーに有用なスペクトルバンドパスを有するゲルマニウムからなる凸レンズ光学素子である。本発明は、他の光学素子形状を有し、ガラスのような他の材料を使用し、他の波長領域におけるエネルギーに有用なスペクトルバンドパスを有する実施例を含む。

【0006】さらに、2つの光学素子を備えた望遠鏡システムが開示される。その広視野の形状において、そのシステムは凸状非球面および凹状2造格子表面を有する対物光学素子のような第1の凸レンズ光学素子を用いる。そして凹状2造格子表面および凹状の球面を有する凹レンズ光学素子が使用される。次は第2の凹レンズ光学素子に後続する凸レンズパワー光学素子が使用される。第1の凹レンズ光学素子および凸レンズパワー光学素子は望遠鏡システムから除去可能である共通のハウジングに固定される。残りの光学素子は狭視野望遠鏡を形成する。好ましい実施例において、システム中の各光学素子は赤外線波長領域に使用するゲルマニウムからなる。

【0007】

【実施例】最初に図2を参照にすると、光学素子12は非球面14および2造格子表面16を有する狭視野の望遠鏡10の1部分として示されている。この特定の実施例において、光学素子12はゲルマニウム凸レンズであり、特に8ミクロン乃至12ミクロンの波長領域に使用される。非球面14は球面レンズに共通する多くの球面収差を防ぐために使用される。2造格子表面16は球面収差および1次色収差を取除くために使用される。

【0008】非球面14は2つの方法の1つによって形成される。円形のレンズ材料は普通コンピュータ制御切削装置を使用して表面14を形成する旋盤上に配置される。その代りに、通常の研磨技術は使用されることができ、この方法はより時間および費用がかかる。

【0009】図3を参照にすると、2造格子表面16はフレネル回折を使用し、多くの型のフレネルゾーン板がある。本発明に使用されるフレネルゾーン板は高い効率を有するキノフォーム型である。キノフォーム位相プロファイル18は2造格子表面16の理論上の限界を示す。プロファイル18は下記の式によって決定される。

【0010】 $\phi(\rho) |_{z_1, z_2} = 2\pi Q (z_2 - z_1)$

ここで、 $z = c - \rho^2 / \{1 + [1 - (k+1)c^2 \rho^2]^{1/2}\} + d - \rho^4 + e - \rho^6 + f - \rho^8 + g - \rho^{10}$ (1)

ここで、位相 ϕ はラジアンでベース20とプロファイル18の間で測定される。 Q は定数および平均波長の関数であり、 c 、 k 、 d 、 e 、 f 、および g は2造格

子表面の位相プロファイルを示す係数であり、ここでは、光学素子12の半径座標である。2のラジアン距離 ϕ は λ (平均) / $(n-1)$ の格子表面厚さ26に対応する。その場合、 n は光学素子12の屈折率である。 λ (平均)は平均波長である。

【0011】本発明の2進格子表面16はキノフォームプロファイル18の形状に近似するように一連の位相レベル28を使用する。同心リング24a, 24b, 24c, 24dは光路長が整数であるとき半径方向の距離に位置されている。各リング24はステップまたは位相レベル28に均等に分配される。位相レベル28の数が増加するにしたがって、2進格子表面16の効率は100%のキノフォームプロファイル効率に接近する。好ましい実施例において、2進格子表面16は10ミクロンの平均波長を基本として3.33ミクロンの厚さ T を有し、16つの位相レベル28 (ただし簡明にするために3つの位相レベルだけが示されている) を使用し、表面16を生成するために $\pi/8$ ラジアン (0.208 ミクロン) の深度32をそれぞれ有する。 $\pi/8$ より少ない深度では、効率は99%以上である。

【0012】2進格子表面16は式 $2^N = L$ にしたがって位相レベルの数と関係する多数のマスク N を使用して構成されるのが好ましい。

【0013】例えば、16つの位相レベル28を生成するために4つのマスクが必要である。

【0014】さらに詳しく説明すると、形成過程は2進格子表面16のパターンを描き、マスクを生成するために非常に正確な電子ビームパターン発生器を使用することによって開始する。マスク整列装置は、開始する円形レンズ材料から材料を選択的に取除くために使用されたエッチング液から保護されなければならない対応する位相レベル28上のパターンを整列するために用いられる。反応イオンエッチング装置はそれぞれ表面16のマスクされていない部分をエッチングするために使用される。

【0015】2進格子表面16はまたダイヤモンドチップ旋盤を使用することによって生成されることができる。この方法に基づいて、切削装置は所望の位相レベル28に達するまで各位相レベルの位置に半径方向に移動し、軸方向に円板を切断する。この方法はまた非常に正確であり、半導体以外の他の型のレンズ材料を形成する適用性を有する。

【0016】光学素子12は赤外線システムに限定される必要がない。ガラス素子を使用するシステムを含む大抵の光学系は本発明により利点を得ることができる。本発明の重要な特徴は1次色収差、球面収差、および全てのオーダの球面色収差および第3のオーダコマ収差を同時に補正することができることである。側面色収差はかなり減少される。さらに、そのような光学素子12の光速度は $F/5$ の低い理論上の焦点比または速度に接近することが可能である。

【0017】この光学素子12の使用に関連する利点は、

本発明の実施例が既知の従来技術と比較されるときに明らかにされる。例えば、従来技術において知られている狭視野の赤外線望遠鏡40の光学的概略図が図1に示されている。望遠鏡40は3つのレンズを使用する。対物レンズ42は球面44, 46を有するゲルマニウム凸レンズである。第2のレンズ48は球面50, 52を有するセレン化亜鉛凹レンズである。セレン化亜鉛レンズ48は第1のレンズ42により生成された球面および色収差を補正するために使用される。第3のレンズ54は光線を平行ビームに屈折させるゲルマニウムの2重凹面パワー凹レンズである。

【0018】再度図2を参照すると、セレン化亜鉛レンズ48が存在しない。球面14および2進格子表面16を備えた光学素子12は、2次色収差以外をほとんど取除き、セレン化亜鉛レンズ48が不要になる。特に、非球面14は球面収差を最小限にし、2進格子表面16は球面色収差を制御する。2つの望遠鏡10, 40の変調伝達関数の比較は、光学素子12を使用する望遠鏡10がより優良の画像品質を提供することを示している。さらに、望遠鏡10の整列は望遠鏡40の整列よりもエラーにそれ程敏感ではない。全体的に、図2の望遠鏡10はより少ないコスト、寸法、重量および複雑性でより良好な画像品質を提供する。

【0019】図2の狭視野の赤外線望遠鏡10についての表は末尾の表1に示されている。この表1において、レンズAは光学素子12に関係し、レンズBは凹レンズ56に関係することに注意するべきである。半径は通常の実用されている特定の表面の曲率半径を意味する。厚さは光軸0に沿って表面から次に高い番号の表面までの距離を表す。すなわち、レンズAの表面1から表面2までの厚さは0.498インチである。空気中のレンズ間の種々の厚さは各レンズの厚さの下に表に示されている。例えば、空中のレンズAの表面2とレンズBの表面3の間の厚さは7.02099インチである。全てのレンズは4.003の屈折率を有するゲルマニウムである。全てのレンズの表面は非球面である表面1以外は球面である。その曲率は表1に示された式 κ によって表される。式(1)は2進格子表面の理論上の境界を示し、2進格子16の位相プロファイル18を表す係数は表1の下方に示されている。

【0020】図4および図5は既知の従来の広視野赤外線望遠鏡60と光学素子12を備えた広視野赤外線望遠鏡10との差異を示す。従来の望遠鏡60は6つのレンズを備える。第1のレンズ62は球面64, 66を有するゲルマニウム凸レンズである。第2のレンズ68は球面70, 72を有するゲルマニウム凹レンズである。第3のレンズ74は球面76, 78を有するセレン化亜鉛凸レンズである。第4のレンズ80は球面82, 84を有するゲルマニウムパワー凸レンズである。第5のレンズ86は球面88, 90を有するセレン化亜鉛凹レンズである。第6のレンズ92は球面94, 96を有するゲルマニウム凹レンズである。

【0021】図5の望遠鏡100は4つのレンズのみを使用する。第1のレンズ102は非球面104および2進格子

7

表面106を有するゲルマニウム凸レンズである。第2のレンズ107は2進格子表面108および非球面110を有する凹レンズ光学素子である。第3のレンズ112は球面114, 116を有するゲルマニウム凹レンズである。第4のレンズ118は球面120, 122を有する凹レンズである。狭視野の望遠鏡10の場合のように、広視野赤外線望遠鏡100の変調伝達関数カーブは画像品質において十分な改善を示している。

【0022】この実施例の別の特徴は、狭視野赤外線望遠鏡10は2つの中間レンズ107, 122を除去することによって望遠鏡100から形成されることが可能であることである。残りのレンズ102, 118は望遠鏡10のレンズ12, 56にそれぞれ対応する。レンズ107, 112は、挿入されると狭視野の望遠鏡10を広視野の望遠鏡100に換える共通のハウジング124に固定される。

*

レンズ/表面	半径	厚さ	材料
<u>A</u>			
1*	7.97881	0.498000	Ge
2	18.9423	7.02099	Air
<u>B</u>			
3	-7.03619	0.120000	Ge
4	9.21997	1.00000	Air

面番	k	A	B	C	D
1	0	-0.48613(10 ⁻³)	-0.75689(10 ⁻³)	-0.11902(10 ⁻³)	-0.63944(10 ⁻³)

$$z = c_0 / \left[1 + \sqrt{1 - (k+1) \rho^2} \right] + d_0 \rho^2 + c_2 \rho^4 + d_2 \rho^6 + e_2 \rho^8$$

図2

$$Q = 2.6051252(10^3)$$

$c_1 = 9.147206(10^3)$	$c_3 = 9.138846(10^3)$
$b_2 = 0$	$b_4 = 0$
$d_1 = 6.2893(10^{10})$	$d_3 = 0$
$c_5 = -8.1443(10^3)$	$c_7 = 0$
$f_1 = 2.5868(10^3)$	$f_3 = 0$
$g_1 = 4.7146(10^3)$	$g_3 = 0$

$$\phi = 2\pi Q(c_3 - c_1)$$

$$z = c_0 / \left[1 + \sqrt{1 - (k+1) \rho^2} \right] + d_0 \rho^2 + c_2 \rho^4 + d_2 \rho^6 + e_2 \rho^8$$

【0027】

【表2】

8

*【0023】広視野赤外線望遠鏡に関する表は表2である。この表は上記において説明された表1の同じ規定に続く。レンズ102はレンズAに対応し、レンズ107はレンズBに対応する。レンズ112はレンズCに対応し、レンズDはレンズ118に対応する。表1のレンズAは表2のレンズAに対応し、表1のレンズBは表2のレンズDに対応する。

【0024】2進格子108の位相プロファイルを示す式(1)の係数は表2の下方に示されている。

【0025】本発明は好ましい実施例に関して特に記載されたが、変形および変更は特許請求の範囲の技術的範囲で行われることができる。

【0026】

【表1】

9	10
レンズ/表面	半径
<u>A</u>	
1*	7.99881
2	10.94223
	0.498000
	1.66544
	Ge
	Air
<u>B</u>	
3	-55.5654
4*	20.7530
	0.250000
	3.60448
	Ge
	Air
<u>C</u>	
5	5.10270
6	17.5633
	0.235813
	0.126526
	Ge
	Air
<u>D</u>	
7	-7.03619
8	9.21997
	0.120000
	1.00000
	Ge
	Air

表面	k	d	e	l	g
1	0	-0.48613(10 ⁻³)	-0.75689(10 ⁻³)	-0.11982(10 ⁻³)	-0.65944(10 ⁻³)
4	0	0.17374(10 ⁻³)	0.81055(10 ⁻³)	0.73735(10 ⁻³)	-0.34511(10 ⁻³)

$$z = c_0 p^3 / \left[1 + \sqrt{1 - (k+1)c_1^2 p^2} \right] + d_0 p^4 + c_2 p^5 + f_0 p^6 + g_0 p^8$$

表面2

$$Q = 2.6051282(10^3)$$

$$c_1 = 9.147206(10^3)$$

$$c_2 = 9.138846(10^3)$$

$$d_1 = 6.2893(10^{-6})$$

$$c_3 = -8.1445(10^{-15})$$

$$f_1 = 2.5868(10^{-13})$$

$$g_1 = 4.7146(10^{-14})$$

$$k_1 = k_2 = c_4 = c_5 = f_2 = g_2 = 0$$

$$\delta = 2\pi Q(z_1 - z_2)$$

表面3

$$Q = 2.6051282(10^3)$$

$$c_1 = 1.799807(10^3)$$

$$c_2 = 1.799681(10^3)$$

$$d_1 = 6.2893(10^{-6})$$

$$c_3 = -8.1445(10^{-15})$$

$$f_1 = 2.5868(10^{-13})$$

$$g_1 = 4.7146(10^{-14})$$

$$k_1 = k_2 = d_2 = c_4 = c_5 = f_2 = g_2 = 0$$

$$z_2 = c_0 p^3 / \left[1 + \sqrt{1 - (k_2+1)c_1^2 p^2} \right] + d_0 p^4 + c_2 p^5 + f_0 p^6 + g_0 p^8$$

【図面の簡単な説明】

【図1】既知の従来の狭視野のFLIR望遠鏡のプロファイル図。

【図2】本発明により構成された光学素子を用いる狭視野のFLIR望遠鏡のプロファイル図。

【図3】光学素子の2進格子表面の拡大されたプロファイル図。

【図4】既知の従来の広視野のFLIR望遠鏡のプロ

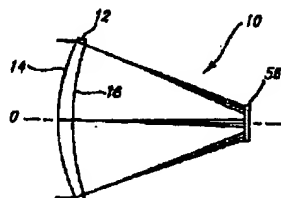
ファイル図。

【図5】本発明により構成された光学素子を備えた広視野のFLIR望遠鏡。

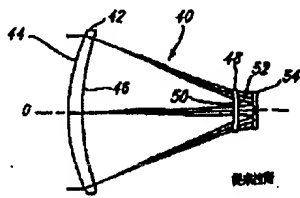
【符号の説明】

10, 40 …狭視野望遠鏡、12…光学素子、14…非球面、16…2進格子表面、18…プロファイル、44, 46, 50, 52 …球面、60, 100…広視野望遠鏡、64, 66, 82, 84, 88, 90 …球面、104 …非球面、106, 108 …2進格子表面。

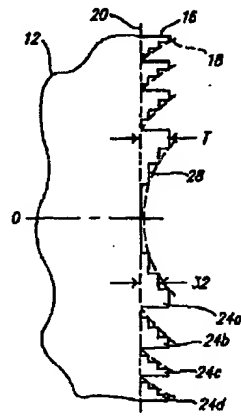
【図2】



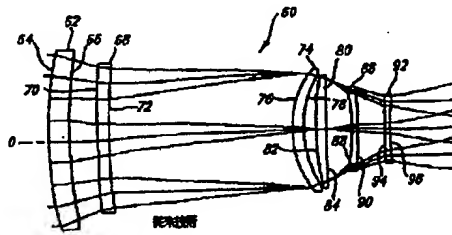
【図1】



【図3】



【図4】



【図5】

